



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**Поволжский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики**

**Воронков А. А., Бурдин В. А., Никулина Е. Г.**

**ИССЛЕДОВАНИЕ АПЕРТУРЫ  
ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ**

**Методические указания  
по выполнению лабораторной работы**

**Самара - 2016**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»

Кафедра линий связи и измерений в технике связи

А.А. ВОРОНКОВ, В.А. БУРДИН, Т.Г. НИКУЛИНА

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АПЕРТУРЫ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ**

Методические указания  
по выполнению лабораторной работы

Самара  
2016

УДК 621.395.73

Рекомендовано к изданию методическим советом ПГУТИ, протокол  
№ 11 от 24.11.2016 г.

Рецензент:  
доцент, кафедры систем связи ФГБОУ ВО ПГУТИ,  
к.т.н., Трошин А.В.

**Воронков, А.А., Бурдин, В.А., Никулина Т.Г.**

**Исследование апертуры волоконных световодов** методические указания  
по выполнению лабораторной работы/ А.А. Воронков, В.А. Бурдин,  
Т.Г. Никулина. – Самара: ПГУТИ, 2016. –10 с.

В учебно-методической разработке приводится систематизированный материал, посвященный исследованию апертуры волоконных световодов.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика, 11.03.01 Радиотехника, 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы и предназначены для проведения лабораторных занятий.

© Воронков А.А., 2016

© Бурдин В.А., 2016

© Никулина Т.Г., 2016

**Цель работы:** Практическое ознакомление с апертурными свойствами волоконных световодов и приобретение навыков измерения числовой апертуры.

### **Литература.**

1. Технологии строительства ВОЛП. Оптические кабели и волокна. [Текст]: учебное пособие / В. А. Андреев [и др.]; ред. В. А. Андреева; ПГУТИ. - Самара: СРТТЦ ПГУТИ, 2014. - 410 с.
2. Направляющие системы электросвязи: Учебник для вузов. В 2-х томах. Том 1 – Теория передачи и влияния / В.А. Андреев, Э.Л. Портнов, Л.Н. Кочановский; под. Ред. В.А. Андреева. – М.: Горячая линия – Телеком, 2011. – 424 с.
3. Гроднев И.И. Волоконно-оптические линии связи. – М.: Радио и связь, 1990. – 224 с.
4. Иоргачев Д.В., Бондаренко О.В. Волоконно-оптические кабели и линии связи – М.: Эко-Трендз, 2002. – 238 с.
5. Снайдер А., Лав Дж. Теория оптических волноводов: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1987. – 656 с.
6. Листвина А. В., Листвин В. Н., Швырков Д. В. Оптические волокна для линий связи – М.: Лесар-арт, 2003. – 288 с.
7. Андреев В.А., Бурдин А.В. Многомодовые оптические волокна. Теория и приложения на высокоскоростных сетях связи. – М.: «Радио и связь», 2004. – 248 с.

### **Контрольные вопросы**

1. Дайте определение угла полного внутреннего отражения световой энергии. Как находят величину этого угла?
2. Дайте определение апертуры оптического волокна (ОВ). От каких параметров волокна зависит апертура?
3. Дайте определение числовой апертуры оптического волокна. Что рассматривается в качестве внешней среды при нахождении величины числовой апертуры?
4. Как классифицируют оптические волокна по величине числовой апертуры?
5. Приведите типичные значения числовой апертуры типовых одномодовых и многомодовых волокон.
6. Взаимосвязь числовой апертуры и нормированной частоты оптического волокна.
7. Как зависят потери при вводе световой энергии в оптическое волокно от величины апертуры?
8. Как зависит уширение импульсов от величины числовой апертуры оптического волокна?

## Техника безопасности при работе с оптическим волокном

1. На рабочем столе должны находиться только те инструменты и материалы, которые необходимы для выполнения работы. Перед началом выполнения лабораторной работы необходимо убрать со стола все личные вещи (сумки, тетради и т.д.).

2. Перед началом работы с ОВ необходимо изучить методику выполнения скола ОВ.

3. Все работы с ОВ выполнять над рабочим столом.

4. Осколки ОВ утилизировать в специальные контейнеры, выданные лаборантом.

5. В случае если осколок ОВ упал за пределы контейнера (например, на поверхность стола) необходимо удалить его при помощи ленты 88Т, липкой ленты или пинцета. Лента после этого также утилизируется в контейнер. Не допускается убирать упавший осколок ОВ голыми руками.

6. В процессе выполнения лабораторной работы запрещается тереть глаза руками.

7. В случае попадания ОВ под кожу немедленно сообщить об этом преподавателю. Не допускается самостоятельное удаление волокна.

8. После окончания выполнения лабораторной работы внимательно осмотреть одежду и рабочее место на предмет наличия осколков ОВ. При необходимости удалить осколки волокна при помощи ленты 88Т, липкой ленты или пинцета.

9. Вымыть руки с мылом для удаления возможных незамеченных осколков ОВ с рук.

## Материалы и инструменты для выполнения работы

1. Безворсовые салфетки



2. Спирт в дозаторе



3. Стриппер Miller



4. Ручка-скалыватель



## 5. Источник света (лампа)



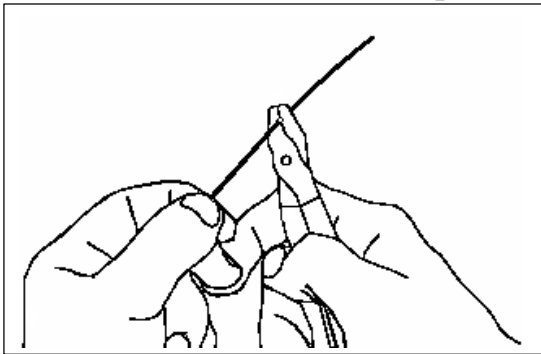
## 6. Оптический микроскоп



### Порядок выполнения работы.

1. Подготовить к измерению образцы волоконных световодов, для этого выполнить качественные сколы торцов волокон. В качестве образцов волоконных световодов применяются образцы многомодового и одномодового телекоммуникационных оптических волокон.

1.1. Уложите волокно в зазор между лезвиями стриппера.



1.2. Установите стриппер под углом около 45 градусов к поверхности волокна так, чтобы при этом, закрыв инструмент, не изогнуть волокно.

1.2. Закройте стриппер, аккуратно сжимая ручки инструмента.

### **Примечание.**

*Усилие, с которым нужно сжимать ручки стриппера, должно быть достаточно большим, чтобы удалить покрытие полностью, но при этом не превышать степени, при которой волокно может быть повреждено или сломано. Чтобы почувствовать необходимые для данного конкретного волокна усилие сжатия и угол наклона стриппера сделайте несколько пробных попыток, удаляя покрытие с конца волокна на длине 3 – 6 мм.*

1.3. Медленно и плавно тяните стриппер прямо вдоль волокна к его концу, пока покрытие не будет удалено. Не допускайте при этом изгибов волокна. Сжимайте ручки стриппера с постоянным усилием в течение всей процедуры удаления покрытия.

1.4. Тщательно протрите волокно смоченной спиртом безворсовой салфеткой в трех плоскостях, поворачивая волокно.



1.5. Возьмите волокно, зажав его между большим и указательным пальцем, не допуская его изгиба.

1.6. Легким касанием сделайте насечку на поверхности ОВ, располагая лезвие скальпеля перпендикулярно оси волокна. Не допускайте чрезмерного давления на волокно!

1.7. Отложите инструмент и не отпуская волокно свободной рукой слегка изогните волокно в зоне, где была нанесена насечка и потяните волокно.

1.8. Если скол не удался, обломите волокно и повторите операции по подготовке волокна на новом участке. Произведите скол на новом участке.

2. Выполните измерение апертуры волоконных световодов (многомодового и одномодового оптических волокон).

2.1. Соберите схему измерения апертуры волоконного световода (рис. 1).

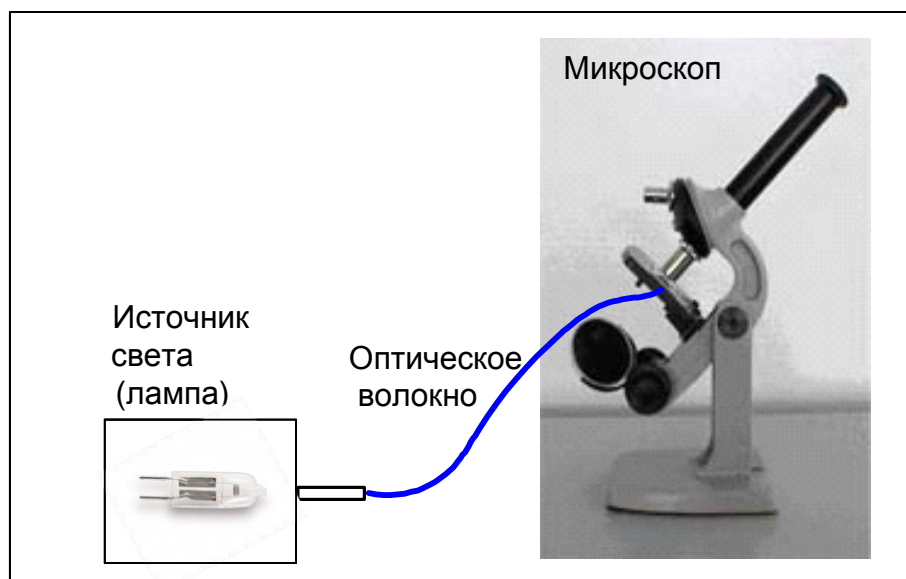


Рис.1 – Схема измерения апертуры волоконного световода

2.2. Включите питание источника светового потока (лампы).

2.3. Ручкой перемещения подставки микроскопа установите ее в такое положение, чтобы торец оптического волокна упирался в экран, расположенный на окуляре.

2.4. Перемещая подставку вниз до получения четкого изображения светового пятна на экране, измерьте расстояние  $L$  по шкале перемещения подставки микроскопа, соответствующее смещению подставки до получения резкого изображения. Измерьте по рискам на экране микроскопа диаметр  $D$  светового пятна.

2.5. Определите апертуру образца, пользуясь соотношением:

$$A = \frac{D}{2L},$$

где  $A$  – апертура волоконного световода;  $D$  - диаметр изображения светового пятна, мм;  $L$  - расстояние смещения подставки микроскопа, мм.

2.6. Произведите повторно пять измерений апертуры, выполняя каждый раз новый скол волокна со стороны микроскопа на длине 1...3 см.

2.7. Вычислите среднее значение апертуры многомодового и одномодового оптического волокон:

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n},$$

2.8. Заполните табл. 1.

Табл.1

Результаты измерений

Апертура $A_i$	Многомодовое ОВ			Одномодовое ОВ		
	$L$ , мм	$D$ , мм	$A$	$L$ , мм	$D$ , мм	$A$
1						
2						
3						
4						
5						
Среднее Значение $\bar{A}$						

3. Сделать выводы, дать классификацию ОВ по величине апертуры.

### Приложение

Рассмотрим модель распространения луча света на границе раздела двух оптических сред с показателями преломления  $n_1$  и  $n_2$ , причем  $n_1 > n_2$ . Лучевая картина на границе раздела оптических сред представлена на рис. 2.

Падающий луч, который имеет угол падения  $\varphi_1$  испытывает отражение под углом  $\varphi_1'$  и преломление под углом  $\varphi_2$ . При этом, в случае когда  $n_1 > n_2$ , угол падения  $\varphi_1$  и отражения  $\varphi_2$  связаны между собой соотношением, известным как закон Снеллиуса:



$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Среда с большим значением показателя преломления обычно называется оптически более плотной средой, и наоборот. Если увеличивать угол падения, то будет увеличиваться и угол преломления и можно достичь момента, когда преломленный луч начнет скользить вдоль границы раздела двух сред без перехода в оптически менее плотную среду. Угол падения, при котором наблюдается такой эффект, называется предельным углом полного внутреннего отражения (рис. 3). При этом, для всех углов падения больших предельного, имеет место только отражение, преломленная волна отсутствует. Это явление называется полным внутренним отражением. В этом случае угол отражения  $\varphi_2 = 90^\circ$  и  $\sin 90^\circ = 1$ . Отсюда получаем соотношение для угла полного внутреннего отражения:  $\varphi_{кр} = \arcsin(n_2/n_1)$ .

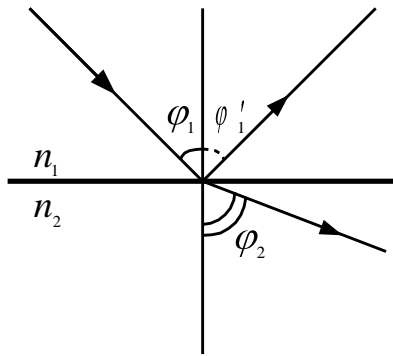


Рис.2 – Преломление луча на границе раздела двух сред

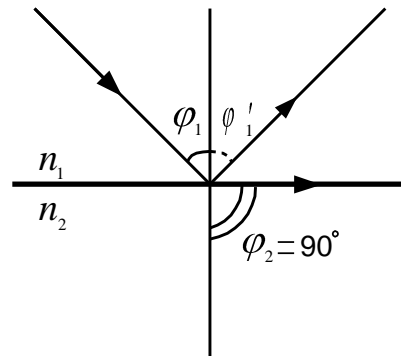


Рис.3 – Полное внутреннее отражение

Для осуществления возможности реализации полного внутреннего отражения в ступенчатом волокне, необходимо выполнение следующих условий:

- 1) Длина волны излучения должна быть меньше диаметра сердцевины ОВ.
- 2) Показатель преломления сердцевины ОВ должен быть больше показателя преломления оболочки  $n_1 > n_2$ .

Пусть луч 1 входит в сердцевину ОВ, пересекая его ось под углом  $\theta_A$ , таким, что его угол падения на границу раздела сердцевина-оболочка равен предельному углу полного внутреннего отражения  $\varphi_{кр}$ . Угол  $\theta_A$  принято называть апертурным углом.

Для всех лучей пересекающих ось ОВ под углом больше апертуры (луч 2), угол падения на границу раздела сердцевина – оболочка меньше предельного и условия полного внутреннего отражения не выполняются. Наоборот, для всех лучей, пересекающих ось ОВ под углом больше

апертурного, угол падения на границу раздела сердцевина – оболочка превышает предельный и условия полного внутреннего отражения выполняются.

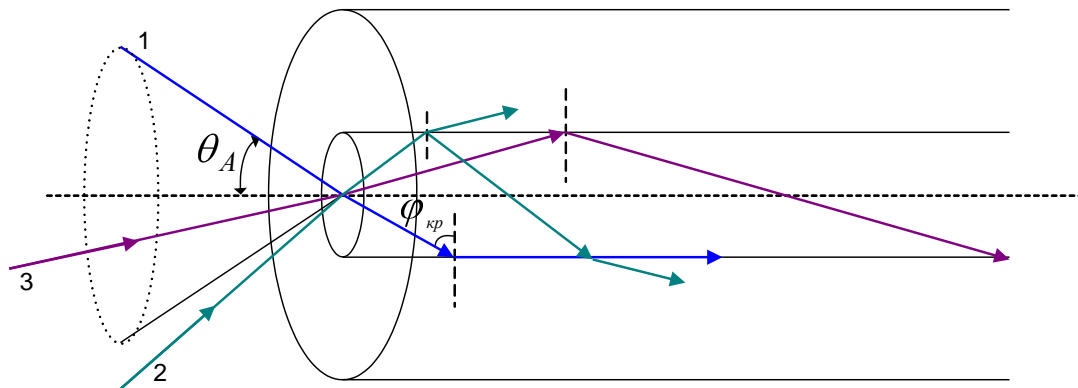


Рис. 4 – Связь апертурного угла с углом полного внутреннего отражения

Если условия полного внутреннего отражения не выполняются (луч 2), то каждый раз при падении луча на границу раздела двух сред имеет место преломление и часть переносимой энергии оптического излучения уходит в оболочку. Как следствие - энергия достаточно быстро затухает. Поэтому такие лучи не могут распространяться в ОВ. И наоборот, лучи, для которых условия полного внутреннего отражения выполняются (луч 3), могут распространяться в сердцевине ОВ на большие расстояния. При вращении вокруг оси ОВ луча, пересекающего ее под апертурным углом, образуется конус.

Очевидно, что все лежащие внутри этого конуса и пересекающие ось ОВ лучи могут распространяться в ОВ, а лучи вне этого конуса – нет. Апертурный угол характеризует условия ввода и распространения оптического излучения в ОВ. Поскольку оперировать со значением угла в градусах несколько неудобно, было введено понятие числовой апертуры, равной синусу апертурного угла умноженного на показатель преломления среды из которой излучение вводится в ОВ:

$$NA = n_0 \sin \theta_A = n_0 \sqrt{n_1^2 - n_2^2},$$

где  $n_0$  - показатель преломления среды, из которой оптическое излучение вводится в ОВ.

Внешней средой, как правило, является воздух, показатель преломления которого равен  $n_0 = 1$ . Волокна, имеющие числовую апертуру не более 0,2, называются низко апертурными волокнами. Волокна, имеющие апертуру более 0,2 называются высоко апертурными волокнами. Чем больше числовая апертура, тем больше уширение импульсов из-за модовой дисперсии. С ростом апертуры уменьшаются

потери энергии на вводе в волокно при использовании источников излучения с широкой диаграммой направленности излучения, поэтому высоко апертурные волокна обеспечивают сравнительно низкие потери на вводе и сравнительно-мало чувствительны к изгибам. Однако они имеют сравнительно низкую пропускную способность за счет большой межмодовой дисперсии. Поэтому высоко апертурные волокна применяются для передачи сигналов на небольшие расстояния, в основном при внутриобъектовой связи. В оптических кабелях, предназначенных для применения на сетях связи, используются низко апертурные волокна.

Ниже в табл. 2 приведены значения числовой апертуры для различных типов ОВ.

Табл.2

Числовая апертура различных типов ОВ

Тип ОВ	Числовая апертура ( $NA$ )	Примечание
SMF-28e+	0,14	1310 нм
CorningInfiniCor 62.5	0,275	-
Corning LEAF	0,14	1550